

FTAMP 30.01.99

М.М. Бекмұратов¹ – негізгі автор, | ©
М. Немеребаев², С.Ә. Орынбаев³, Т.С. Жүсіп⁴



¹Техн. ғылым. канд., доцент, ²Техн. ғылым. д-ры, профессор,
³PhD, доцент, ⁴Техн. ғылым. канд., доцент



^{1,3,4}М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,
Тараз қ., Қазақстан Республикасы



²Халықаралық Тараз инновациялық институты,
Тараз қ., Қазақстан Республикасы



¹bekmuratov_m@mail.ru, ²neverebayev@mail.ru, ³seitghan_74@mail.ru
⁴zhusip76@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/PVLS9365>

КОМПОЗИТ МАТЕРИАЛДАН ЖАСАЛҒАН ТЕТРАҚҰРЫЛЫМДЫ ҚАБЫРШАҚТЫҢ ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ ЕРЕКШЕЛІГІНЕ БАЙЛАНЫСТЫ ТЕРБЕЛІСІ

Аңдатпа. Мақалада цилиндрлік торлы қабықшалар тербелістерінің табиғи жиіліктерін Грин функциясының математикалық аналогы болып табылатын динамикалық сәйкестік функциясын қолдана отырып сипаттайтын теңдеулер жүйесі қарастырылған. Сондай-ақ, композиттік материалдардан жасалған торлы қабықшалар геометриясының ерекшеліктері қаралған. Ықтимал нүктеде қолданылатын бірлік гармоникалық күштің әсерінен тұрақты қимасы бар өзекшенің мәжбүрлі тербелісінің теңдеулері сипатталған және оқшауланған штанганың динамикалық сәйкестік функциясын анықтау әдістемесі баяндалған. Өзекшелердің динамикалық сәйкестік функциясы матрицасының негізгі элементтері алынған ығысулардың амплитудалық мәні болады және барлық түпкілікті нәтижелер бастапқы деформацияланбаған координаттар жүйесіне қатысты жазылған. Рамалық штрих элементтерінің динамикалық сәйкестік функциясының ерекшеліктері талданған.

Тірек сөздер: қабыршақ, тербелістер, жиіліктер, шпангоут, бұрыш, каркас.



*Бекмұратов, М.М. Композит материалдан жасалған тетрақұрылымды қабыршақтың элементтерінің ерекшелігіне байланысты тербелісі [Мәтін] / М.М. Бекмұратов, М. Немеребаев, С.Ә. Орынбаев, Т.С. Жүсіп // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2021. – №1(71). – Б.104-111.
<https://doi.org/10.55956/PVLS9365>*

Кіріспе. Жұқа қабырғалы тетрагональды қабыршақтың құрылымы кеңістіктікте симметриялы сырықтар жүйесі болып бір-бірімен, сондай-ақ негізі тірек күші элементтерінде арақашықтығы тепе-тең нүктелерде байланысқан жүйе болып келеді. Сонымен, тетрагональды цилиндр қабыршақтың құрылымын қабырғасының көлденең қимасын тұрақты екі сырықтар жүйесі құрайды, олардың ұштары шеткі жақтауларға өздері мен жақтау арасындағы байланыс нүктелерін жасаушы шеңберді тең доғаларға бөлетін етіп бекітіледі.

Қабыршақты құрайтын сырықтар жүйесі белгілі бір + φ бұрыштағы бағытындағы сырықтар тобы - φ бұрышпен бағытталған сырықтар жүйесіне

сәйкес келеді. Сонымен қатар, бұл сырықтар ұзындығы бойымен бірдей қашықтықта қиылысқан нүктелерде бекітіледі.

Жалпы жағдайда, цилиндр құраушы сырықтар жүйесінің қабырғалары спираль өсті болып табылады. Сонымен қатар осьтері қисық орналысқан осы тәрізді конструкциялар кеңінен қолданылады. Бұрыштары φ кішкентай болған жағдайда олар цилиндр тәрізді бетке жататындығын болжай аламыз.

1. Геометрияның ерекшеліктері. Мұндай жүйелердің тербелістерін олардың сипаттамалары сызықты деп есептеп, динамикалық икемділік функциясы (ДИФ) әдісін қолдана отырып, яғни жүйенің кез-келген А нүктесінің орын ауыстыруларының амплитудалық мәнін оған қолданылған бірлік гармоникалық күштің кез келген В нүктесіндегі әсерінен деп есептеу керек [1].

Жүйенің элементтерінің тербелісін келесі координаталық өстерде қарастырылады. Кез-келген өзектің өстік нүктесі бар i реттегі сырықтар жүйесі ортаңғы бұрышы θ_i анықталып, сырықтар өсі бағытында тірек рамасының бастапқы радиусынан S координатасымен анықталынады. X нүктесінің орынауыстыруын li бойлық өсі және негізгі бас өстер $2i$ және $3i$ бағытында анықтап, олар жалпы жағдайда $3i$ өстерімен құрылысның радиусы арасында α_i бұрышына бұрылып, құрылымның параллель өсімен сырықтың бойлық өсінің арасында γ_i бұрышы түзіледі. Сонымен, спираль элементтері арқылы құрылған қабыршақ үшін $\alpha_i = \theta$ $\gamma_i = \pm \varphi$. Сырықтардан бойлық өсіне қатысты бұралмай түзлген қабыршақтар үшін

$$\alpha_i = \alpha_{i_0} + \frac{\theta_{il} - \theta_{i_0}}{l} \cdot x \quad (1)$$

мұнда $\gamma_i = \gamma$ бұрышы келесі қатынастан анықтауға болады

$$\sin \gamma = \frac{R}{2l} \sin \frac{\theta_{il} - \theta_{i_0}}{l} x, \gamma = \arccos \frac{L}{l} \quad (2)$$

мұнда θ_{i_0} – ортаңғы бұрыш, бастапқа қабыршақ жасаушы шеңбердің радиусынан бастап сырықтардың қиылысу нүктесіне дейін есептелінетін; θ_{il} - i - реттегі сырықтың соғғы тірек шеңберіндегі ортаңғы бұрышы; R - тірек шеңберлерінің радиусы; l – сырықтың ұзындығы; L -тірек шеңберлерінің арақашықтығы.

θ_i - θ_0 мәндерінің айырмасының кіші мөлшерінде есептеуге болады

$$y = \frac{R}{2l} \cdot \frac{\theta - \theta_0}{l}$$

Спираль сырықтардың қисықтық мәнін келесі теңдеумен анықтаймыз:

$$x = \frac{1 - \cos \varphi^2}{R} \quad (3)$$

Сырықтардың бұралу мәні:

$$\frac{1}{\Sigma_0} = \frac{\sin \varphi \cdot \cos \varphi}{R} \quad (4)$$

φ кіші мәндерінде жуық мәндері алынады

$$x = 0, \frac{1}{\Sigma_0} = \frac{\varphi}{R} \quad (5)$$

Сырықтың қимасының x координатындағы бұралу бұрышын анықтаймыз,

$$x = \varphi \frac{x}{R} \quad (6)$$

немесе

$$\alpha = \frac{\theta - \theta_0}{l} \cdot x \quad (7)$$

Құрылым өсіне $+\varphi$ бұрыш бағытағы N сырықтардан және $-\varphi$ бұрышыны бағытас N сырықтардан тұрады деп есептейміз. Олардың бір-бірімен байланыс нүктелері және бойлық координатаның басында орналасқан тірек жақтауыда қабыршақ жасаушы шеңберін тең доғаларға бөледі, егер сырықтар $+\varphi$ бұрышында орналасса, онда $i = 1, 2 \dots N$ оны сағат тілімен бағытас өсетін деп есептеп, m сағат тіліне қарсы бағытта $-\varphi$ бұрышымен бағытталған сырықтар тиісінше $j = 1, 2, 3 \dots N$, ал i -ші сырыққа орталық бұрыш $\theta_i = \frac{2\pi}{N} i$ сәйкес келеді.

Бұл жағдайда келесі байланыс туындайды $j = N - i + 1$.

Құрылымда кез-келген i нөмірі сырықтың бағытында (тірек жақтауларымен байланыс нүктелерін есептемегенде) $-\varphi$ бұрыш бағытындағы сырықтармен қиылысады делік. Содан қиылысу (байланыс) нүктелері оның ұзындығын $K + 1$ тең бөліктерге бөледі.

Қиылысу нүктелерінің координаталары сәйкесінше

$$x_{im} = \frac{1}{K + 1} m, \quad m = 1, 2, 3, \dots K.$$

Бұл жағдайда j нүктесі $j = N - i - m + 1$ реті бар сырықтың i ретті сырықтың қиылысуына сәйкес келеді. Онда орталық бұрышы $\theta_{im} = \frac{2}{N} [i + m]$ және құрылымның бойлық өсі бойымен осы нүктенің координаты $\frac{lm}{K + 1}$.

2. Оқшауланған сырықтың динамикалық икемділік функциялары. Жазық қима жорамалы негізінде көлденең қимасы тұрақты сырықтардың X осі бойымен кезкелген S нүктесінде түсетін бір тең гармоникалық күш әсерінен ерісіз тербелісі келесі теңдеулермен сипатталады [2,3]:

$$\begin{aligned} EF \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} + pF \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} &= \delta(x - s) \sin \omega t \\ EI_3 \frac{\partial^4 u_1}{\partial x^4} + pF \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} &= \delta(x - s) \sin \omega t \\ EI_2 \frac{\partial^4 u_3}{\partial x^4} + pF \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} &= \delta(x - s) \sin \omega t \\ GI_p \frac{\partial^4 u_3}{\partial x^4} + pF \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} &= \delta(x - s) \sin \omega t \end{aligned} \quad (8)$$

мұнда E - серпімділік модулі; G - ығысу модулі; P - материалдың массалық тығыздығы; F - сырықтың көлденең қимасының ауданы; I_2, I_3 - 2 және 3 өстер арқылы сырықтың көлденең қимасының инерция моменттері өстерге сәйкес; I_p - полярлық инерция моментті; u_1, u_2, u_3 - 1, 2 және 3 өстер бағытындағы орын ауыстырылуы; u_4 - 1 өс бағытындағы бұрылу бұрышы; $\delta(x - s)$ - 1-ші мәндегі Дирақтың үзіліу функциясы.

Шектік жағдайын келесі түрде аламыз

$$u_1 = 0, \frac{\partial^4 u_1}{\partial x^2} = 0, u^2 = 0, \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} = 0, u_3 = 0 \tag{9}$$

$$\frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} = 0, u_4 = 0 \quad x=0, x=1$$

(8) шешімін келесі түрде қарастырамыз

$$u_1 = \sum_{m=1}^{\infty} \alpha m i \cdot \sin \frac{m\pi x}{l} \sin \frac{n\pi s}{l} \sin \omega t \tag{10}$$

мұнда

$$\alpha m i = \frac{1}{\frac{\pi^2 m^2}{l^2} EF - pF \omega^2} \tag{11}$$

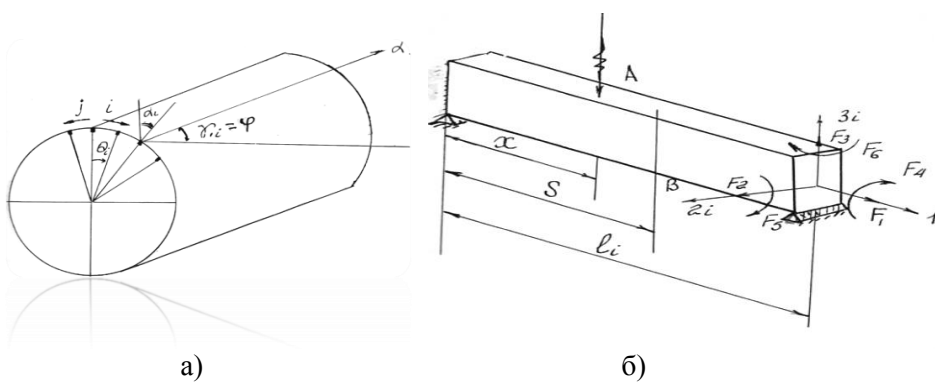
Динамикалық икемділік функцияның матрицасының негізгі бөлшектері алынған орынауыстырудың амплитудалық мәндерінен құралады демек

$$v_{ii} = (x, s, \omega^2) = \sum_{m=1}^{\infty} \cdot \sin \frac{m\pi x}{l} \sin \frac{n\pi s}{l} \tag{12}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, k$

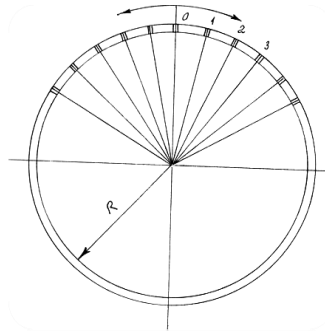
Сонымен бірге нөлге тең емес бөліктері мыналар $v_{55}, v_{66}, v_{35}, v_{53}, v_{62}, v_{26}$. Олар келесі, дифференциалдық туындыдан анықталынады.

$$\begin{aligned} v_{62} = (x, s, \omega^2) &= \frac{\partial}{\partial x} \mathcal{G}_{22}(x, s, \omega^2) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{m\pi}{l} \alpha m_3 \cos \frac{m\pi s}{l} \sin \frac{m\pi x}{l} \\ v_{62} = (x, s, \omega^2) &= \frac{\partial}{\partial x} \mathcal{G}_{22}(x, s, \omega^2) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{m\pi}{l} \alpha m_3 \cos \frac{m\pi s}{l} \cos \frac{m\pi x}{l} \\ v_{26} = (x, s, \omega^2) &= \frac{\partial}{\partial x} \mathcal{G}_{33}(x, s, \omega^2) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{m\pi}{l} \alpha m_3 \cos \frac{m\pi s}{l} \sin \frac{m\pi x}{l} \\ v_{55} = (x, s, \omega^2) &= \frac{\partial}{\partial x} \mathcal{G}_{33}(x, s, \omega^2) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{m\pi}{l} \alpha m_3 \cos \frac{m\pi s}{l} \sin \frac{m\pi x}{l} \\ v_{66} = (x, s, \omega^2) &= \frac{\partial}{\partial x} \mathcal{G}_{33}(x, s, \omega^2) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{m\pi}{l} \alpha m_3 \cos \frac{m\pi s}{l} \sin \frac{m\pi x}{l} \end{aligned} \tag{13}$$



а - қабыршақ; б - қабыршақтың сырықтар бөлігі.

Сурет 1. Қабыршақтың есептеу нобайы



Сурет 2. Тірек шеңберіндегі (шпангоуттегі) сырықтардың орналасуы

Бұл жағдайда тік бұралмаған көлденең қимасы тұрақты сырықтың динамикалық икемділік функцияның матрицасы төменгі түрді қабылдайды

$$\begin{vmatrix} v_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & v_{22} & 0 & 0 & 0 & v_{26} \\ 0 & 0 & v_{33} & 0 & v_{35} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & v_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & v_{53} & 0 & v_{55} & 0 \\ 0 & v_{62} & 0 & 0 & 0 & v_{66} \end{vmatrix} = 0 \quad (14)$$

1, 2 және 3 өстер бағытындағы және қабыршақтың өсімен, сонымен бірге радиусына бағыттал және көлденең қимасына, құрылымның радиусына тік өстегі сырықтың динамикалық икемділік функция $\Gamma_{ij}(x, s, w^2)$ белгілеп, жеңіл болу үшін индекстегі штрихтарды көрсетпейміз.

Γ_{ij} бөліктерінің матрицасы v_{ij} арқылы келесі мәндерді қабылдайды:

$$\begin{aligned} \Gamma_{11} &= v_{11} \cos^2 \gamma_1 - \frac{1}{2} v_{22} \sin 2\gamma_1 \cos \alpha_1 \\ \Gamma_{22} &= v_{22} \cos^2 \gamma_1 - \frac{1}{2} v_{22} \cos \alpha_1 - v_{11} \sin^2 \gamma_1 \\ \Gamma_{33} &= v_{33} \cos^2 \alpha_1 \\ \Gamma_{44} &= v_{44} \cos^2 \alpha_1 \\ \Gamma_{55} &= v_{55} \cos^2 \gamma_1 \cos^2 \alpha_1 \\ \Gamma_{66} &= v_{66} \cos^2 \alpha_1 \\ \Gamma_{12} &= v_{21} = \frac{1}{2} v_{11} \sin 2\gamma_1 - \frac{1}{2} \sin 2\gamma_1 \cos^2 \alpha_1 \\ \Gamma_{13} &= v_{31} = 0, \Gamma_{14} = \Gamma_{41} = 0, \Gamma_{46} = \Gamma_{64} = 0, \\ \Gamma_{45} &= v_{54} \frac{1}{2} v_{11} \sin 2\gamma_1 \\ \Gamma_{15} &= v_{51} = v_{26} \sin \gamma_1 \sin \alpha_1 \\ \Gamma_{16} &= v_{61} = v_{26} \sin \gamma_1 \cos^2 \alpha_1 \\ \Gamma_{23} &= v_{32} = v_{22} \cos \gamma_1 \sin \alpha_1 \\ \Gamma_{24} &= v_{42} = 0 \\ \Gamma_{56} &= v_{65} = -v_{66} \cos \gamma_1 \sin \alpha_1 \\ \Gamma_{25} &= \Gamma_{52} = -\frac{1}{2} v_{26} \sin 2\alpha_1 \cdot \cos \gamma_1 \\ \Gamma_{26} &= \Gamma_{62} = v_{26} \cos \gamma_1 \cdot \cos^2 \alpha_1 \\ \Gamma_{34} &= \Gamma_{43} = v_{35} \sin \gamma_1 \cdot \cos^2 \alpha_1 \\ \Gamma_{36} &= \Gamma_{63} = v_{35} \cos \gamma_1 \cdot \sin \alpha_1 \end{aligned} \quad (15)$$

3. Құрылымның сырықтар бөлігінің динамикалық икемділік функциялары. Құрылымның құрамдағы i -реттегі сырықтың орынауыстыруының мәні оған әсер ететін күштерден және $-\varphi$ бағытындағы сырықтардың түйісу тірек әсерлерінен туындайтын орын ауыстырудың қосындысы болып табылады да келесі түрді қабылдайды:

$$G_{\mu\nu}^i(x, s, \omega^2) = \Gamma_{\mu\nu}^i(x, s, \omega^2) - \sum_{m=1}^k \sum_{r=1}^6 \Gamma_{\mu\nu}^i(x, s_r, \omega^2) R_r^i(S_m) \quad (16)$$

мұнда $R_r^i(S_m) - S_m$ нүктесіндегі байланыс әсері k - байланыс нүктесінің саны.

$-\varphi$ бұрышпен бағытталған кез келген j -інші қабыршақтың бөлігінің амплитудалық орын ауыстыруының мәні.

$$G_{\mu\nu}^i(x, s, \omega^2) = \Gamma_{\mu\nu}^i(x, s, \omega^2) - \sum_{m=1}^k \sum_{r=1}^6 \Gamma_{\mu\nu}^i(x, s_r, \omega^2) R_r^i(S_m) \quad (17)$$

Құрылымның бөліктерінің байланыс нүктесіндегі орын ауыстыруының бір тектілігін ескеріп келесі теңдеуді аламыз

$$G_{\mu\nu}^i(x, s, \omega^2) = G_{\mu\nu}^{N-i-p+1}(x_{N-i-p+1}, s, \omega^2) \quad (18)$$

немесе

$$R_{\mu\nu}^i(S_\tau) = R_{\mu\nu}^{N-i-p+1}(S_\tau) \quad (19)$$

Құрылымның бөлігінің динамикалық икемділік функцияларының мәндерін қойып өрнекті шешеміз:

$$\Gamma_{\mu\nu}^i(x_p, s, \omega^2) = \sum_{r=1}^6 \sum_{m=1}^k \sum_{r=1}^6 \alpha_{n\mu\nu}(\omega) \sin \frac{n\pi x_{ip}}{l} \sin \frac{n\pi S_r}{l} R_r^i(S_m) \quad (20)$$

(20) ары жеңілдету мақсатында сырықтардың байланыс нүктелерінің координаттарын қойып шешеміз:

$$x_{ip} = \frac{lp}{k+1}, S_n = \frac{lr}{k+1}, x_\theta = \frac{l\theta}{k+1}, S_\tau = \frac{l\tau}{k+1} \quad (21)$$

Синустың периодикалық функция екекін ескеріп, келесі мәнді аламыз: (21) теңдеуден a_{mn} үшін

$$\alpha - h + 2(k+1)(s+1) = \alpha h - 2(k+1)(s+1) \quad (22)$$

Сондықтан (16) теңдеуді (21) қолданып шешкенде φ_i бұрышындағы сырықпен байланыстағы сырықтың динамикалық икемділік функциясын келесі мәнді қабылдайды немесе, $\Gamma^i(x_p, s_m, \omega^2)$ мәнін ашып, (16), түрлендіріп келесі теңдеуді аламыз [5]:

$$G(x, s, \omega^2) = \sum_{m=1}^{\infty} (a)_m(\omega) \quad (23)$$

Қорыта келе, α өсіндегі φ - бұрыш бағытындағы сырықпен байланыстағы, еркін байланыстағы i -ші сырықтың еріксіз тербеліс есебінің шешімі табылды деп есептейміз, егер кез-келген күштен амплитудалық орын ауыстыруының динамикалық икемділік функциясы белгілі болғанда $G(x, s, \omega^2)$ интегралдық жиынтықпен күш функциясы арқылы:

$$y(x) = \int G(x, s, \omega^2) ds \quad (24)$$

Әдебиеттер тізімі

- 1 Москаленко, Л.В. О выборе параметров подкрепляющих элементов пластин и оболочек, максимально повышающих жесткость системы систем [Текст] / Л.В. Москаленко, Б.П. Умушкин // Научный Вестник МГТУГА, Серия Эксплуатация ВТ и ремонт АТ. - 2010. - №161. – С.111-118
- 2 Вульфсон, И.И. Краткий курс теории механических колебаний [Текст]: учебник / И.И. Вульфсон. – М.: ВНТР, 2017. – 241 с.
- 3 Босьяков, С.М. Определение собственных частот свободных колебаний тонкой цилиндрической оболочки из стеклопластика при несимметричных граничных условиях [Текст] / С.М. Босьяков, В. Чживэй // Вестн. БГУ. Сер. 1. – 2011. –№ 1. – С. 110 – 115.
- 4 Умушкин, Б.П. Оптимизация упругих динамических систем [Текст] / Б.П. Умушкин // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества. Тезисы докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 85-летию гражданской авиации России. – М.: МГТУ ГА, 2008. – С. 39-43.
- 5 Немеребаев, М.Н. Динамическая устойчивость сетчатой оболочки из композиционных материалов [Текст] / М.Н. Немеребаев, Ж.С.Рахманова, А.М. Немеребаева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 8 (часть 1). – С. 25-29.

Материал редакцияга 15.03.21 түсті.

М.М. Бекмуратов¹, М. Немеребаев², С.А. Орынбаев¹, Т.С.Жүсіп¹

¹Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан,

²Международный Таразский инновационный институт, г. Тараз, Казахстан

**ВИБРАЦИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕТРОСТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНОВ
ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

Аннотация. В статье выведена система уравнений, описывающих определение собственных частот колебаний цилиндрических сетчатых оболочек с использованием функции динамической податливости, являющейся математическим аналогом функции Грина. Рассмотрены также особенности геометрии сетчатых оболочек из композитных материалов. Такой подход позволяет сформулировать единую систему допущений, на основе которых проводится оценка малости тех или иных членов в соотношениях между деформациями и перемещениями стержней. Определено число стержней в каркасе, точки соединения их друг с другом и с опорным шпангоутом. Описаны уравнения вынужденных колебаний стержня постоянного сечения под действием единичной гармонической силы, приложенной в произвольной точке. Излагается методика определения функции динамической податливости (ФДП) изолированного стержня. Основными элементами матрицы функции динамической податливости стержней будут амплитудные значения полученных перемещений. Анализируются особенности функции динамической податливости стержневых элементов каркаса. Все окончательные результаты записаны относительно исходной недеформированной системы координат.

Ключевые слова: оболочка, колебания, частота, шпангоут, угол, каркас.

M.M. Bekmuratov¹, M. Nemerebayev², S.A. Orynbayev¹, T.S. Zhusip¹

¹Taraz regional university named after M. Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan

²International Taraz Innovation Institute, Taraz, Kazakhstan

VIBRATION OF TETRIC STRUCTURE MADE OF COMPOSITE MATERIAL DUE TO FEATURES OF ELEMENTS

Abstract. The article deduced a system of equations describing the determination of the natural frequencies of vibrations of cylindrical mesh shells using the dynamic compliance function, which is a mathematical analogue of the Green's function. Also, the features of the geometry of mesh shells made of composite materials are considered. This approach makes it possible to formulate a unified system of assumptions, on the basis of which the smallness of certain terms in the relationship between the deformations and displacements of the rods is assessed. The number of rods in the frame, the points of their connection with each other and with the supporting frame have been determined. The equations of forced vibrations of a rod of constant cross-section under the action of a unit harmonic force applied at an arbitrary point are described. A technique for determining the dynamic compliance function of an insulated rod is described. The main elements of the matrix of the dynamic compliance function of the rods will be the amplitude values of the obtained displacements. The features of the dynamic compliance function of the frame bar elements are analyzed. All final results are recorded relative to the original non-deformed coordinate system.

Keywords: shell, vibrations, frequencies, corner, frame.

References

1. Moskalenko L.V., Umushkin B.P. O vybore parametrov podkreplyayushchikh elementov platin i obolochek, maksimal'no povyshayushchikh zhestkost' sistemy sistem [On the choice of parameters of reinforcing elements of plates and shells that maximize the rigidity of the system of systems] // Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, No. 161, Series VT operation and repair of AT. – Moscow: MGTUGA. 2010, PP. 111-118 [in Russian].
2. Wolfson I.I. Kratkiy kurs teorii mekhanicheskikh kolebaniy [Short course of the theory of mechanical vibrations]. - Moscow: VNTR, 2017, 241 p. [in Russian].
3. Bosyakov S.M., Chzhiwei V. Opredeleniye sobstvennykh chastot svobodnykh kolebaniy tonkoy tsilindricheskoy obolochki iz stekloplastika pri nesimmetrichnykh granichnykh usloviyakh [Determination of natural frequencies of free vibrations of a thin cylindrical shell made of fiberglass under asymmetric boundary conditions] // Vestn. BSU. Ser. 1. 2011, No.1, PP. 110-115 [in Russian].
4. Umushkin B.P. Optimizatsiya uprugikh dinamicheskikh sistem [Optimization of elastic dynamic systems] // Civil aviation at the present stage of development of science, technology and society. Abstracts of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 85th anniversary of Russian civil aviation. - Moscow: MSTU GA, 2008, P. 39 [in Russian].
5. Nemerebaev M.N., Rakhmanova Zh.S., Nemerebaeva A.M. Dinamicheskaya ustoychivost' setchatoy obolochki iz kompozitsionnykh materialov [Dynamic stability of the mesh shell made of composite materials] // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2016, No.8 (part 1), PP. 25-29 [in Russian].